

「長周期地震動予測地図」2012年試作版の公表について

平成 24 年 1 月 13 日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会

地震調査研究推進本部は、「新たな地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（平成 21 年 4 月 21 日）において、10 年程度の当面推進すべき地震調査研究の主要な課題として、長周期地震動の調査研究の必要性を謳った。地震調査研究推進本部地震調査委員会は、平成 19 年度から長周期地震動の予測を進めるべく、予測手法と予測結果の公表方法について検討を行っており、平成 21 年 9 月に想定東海地震、東南海地震、及び宮城県沖地震を対象とした「長周期地震動予測地図」2009 年試作版を公表した。

その後、長周期地震動予測地図の高度化に向けて、震源モデルや地下構造モデルなどの改良の検討を進め、今回、南海地震（昭和型）を対象とした「長周期地震動予測地図」2012 年試作版を作成した。

今回公表する「長周期地震動予測地図」2012 年試作版と以前に公表した「長周期地震動予測地図」2009 年試作版は、いずれも、最も情報量の多い直近の地震の長周期地震動の再現を試みたものであり、史上最大級あるいは想定最大級を対象としたものではない。したがって、より広域が破壊する巨大地震を含めたいろいろな特性化震源モデル群を含む本格的な長周期地震動予測、更には広帯域地震動予測を進めていくための重要なステップと位置づけられる。今後、そのために必要な技術的検討はもとより、予測結果を有効に社会に活かしていくため、その提示のあり方などについて、防災関係者や研究者の間でも広く議論を行い、その検討を踏まえて、長周期地震動予測、更には広帯域地震動予測を進めていきたい。

「長周期地震動予測地図」2012 年試作版

地震調査研究推進本部は、「新たな地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（平成 21 年 4 月 21 日）において、10 年程度の当面推進すべき地震調査研究の主要な課題として、長周期地震動の調査研究の必要性を謳った。

地震調査研究推進本部地震調査委員会では、強震動評価部会及びその下の地下構造モデル検討分科会が中心となり、平成 19 年度から、長周期地震動の予測手法と予測結果の公表方法について検討を行ってきた。そして、平成 21 年 9 月に想定東海地震、東南海地震（1944 年東南海地震に相当するもの）、及び宮城県沖地震（1978 年宮城県沖地震に相当するもの）を対象とした「長周期地震動予測地図」2009 年試作版を公表した。

その後、それまでの検討で得られた知見と課題を整理し、

- ・ 地下構造モデルの構築とその改良
- ・ 検討対象地震の震源モデルの構築とその改良

などの検討をさらに進めてきた。

今回、上記の諸検討を行った成果をまとめ、南海地震（昭和型；1946 年南海地震に相当するもの）を対象地震とした中部地方西部から九州地方にかけての長周期地震動予測地図を試作した。同時に、全国 1 次地下構造モデル（暫定版）をまとめた。

1. 「長周期地震動予測地図」とは

「長周期地震動予測地図」とは、ある特定の大地震が発生した場合にその周辺はもとより遠方にも生じる長い周期の地震動の分布を示したものである。「長周期地震動予測地図」2009年試作版では、計算上の制約等から、工学的基盤上での周期3.5秒以上の地震動について検討したが、このたび公表する「長周期地震動予測地図」2012年試作版では、計算手法の高度化と計算モデルの詳細化により、下限周期を約2秒にまで拡張して工学的基盤上での地震動を計算した。

長周期地震動予測地図の性格は、平成21年7月21日に公表された「全国地震動予測地図」のうち、「震源断層を特定した地震動予測地図」の一種に相当する。「全国地震動予測地図」の「震源断層を特定した地震動予測地図」が比較的短周期（周期約0.1～1秒程度）の揺れに対応する地表の震度分布として作成されたのに対して、「長周期地震動予測地図」では、以下のような地震動の3つの特性（振幅特性・経時特性・周期特性）をそれぞれ考慮した工学的基盤上での地図を作成した。

- ・振幅特性（揺れの強さの特性）：

揺れの速度の最大値（最大速度、単位：cm/s）の分布図

- ・経時特性：揺れの速度が1 cm/sを超える継続時間（単位：秒）の分布図

- ・周期特性：周期3秒、5秒、7秒、10秒の減衰定数5%速度応答スペクトル（単位：cm/s）の分布図

（様々な固有周期をもつ超高層建物などの長周期構造物の揺れ方に着目して4つの周期に対して作成された図）

これにより、どの程度の強さの長周期地震動が、どの程度長い時間続くのか、固有周期3秒、5秒、7秒、10秒の長周期構造物^{*1}がどの程度の速度で揺れるのかの目安を示すことを試みた。

2. 「長周期地震動予測地図」2012年試作版の主な特徴

今回作成した「長周期地震動予測地図」の主な特徴を示す。

- a) 発生確率が高くかつ発生した場合に大きな被害が予想される南海地震の中でも、最近の事例であり最も情報量の多い南海地震（昭和型、 M_w 8.4）を対象とした。このようなモデルを、前イベントモデルと呼んでいる。
- b) 人口の集中する大都市があり長周期地震動の影響が大きいと考えられる主要な平野（濃尾平野、大阪平野など）を含む限定された範囲の工学的基盤上での長周期地震動を計算し、中部地方西部から九州地方にかけての長周期地震動予測地図を作成した。

*1 長い固有周期を持つ超高層建物や免震建物、長大橋、石油タンクなどの構造物を指す。

- c) 計算手法の高度化と計算モデルの詳細化により、計算対象とする地震動の下限周期を約2秒まで拡張し、周期3秒、5秒、7秒および10秒の長周期地震動予測地図を作成した。
- d) 計算範囲の地下構造モデルについて、過去の地震（2004年紀伊半島南東沖の地震の前震、1946年南海地震）の長周期地震動観測記録の再現性を検証することによって改良を図り、1次地下構造モデルを作成した（報告書4章を参照）。
- e) 同じアスペリティの破壊が繰り返した場合を前提に、周期5秒程度よりも長周期帯域で有効な震源モデルを前イベント震源モデルとした上で、それよりも短周期の成分を別途付加するように工夫を施すことにより（付録3を参照）、周期2秒以上の長周期地震動を予測することを目指した。
- f) 「長周期地震動予測地図」2012年試作版と「長周期地震動予測地図」2009年試作版の1次地下構造モデルを統合し、「全国1次地下構造モデル（暫定版）」を作成した（付録2を参照）。
- g) 主な府県庁所在地などで計算した長周期地震動の速度波形や速度応答スペクトルについては、ホームページで公開する。

3. 「長周期地震動予測地図」の各図について

3-1 速度応答スペクトルの分布図（図1、図2、図3）

固有周期 T 秒の超高層建物などの長周期構造物がどの程度の速度で揺れるかについて、分布図として示したものである。速度応答値は、地面に対する構造物の相対速度応答最大値である。この図は速度応答水平成分のみから作成されているが、上下成分を加えてもそれほど傾向は変わらない（ $T=3, 5, 7, 10$ 秒とし、揺れが時間と共に弱まっていく程度を示す減衰定数は5%として計算した）。なお、固有周期によって参照する地図が異なることに留意する必要がある。

また、比較的近接した地点同士であっても場所により予測される地震動が大きく異なる場合があることを、大阪平野内の3地点で計算された速度応答スペクトルを例に示している（図4、図5）。

<例>

- ・戸建住宅、低層建物（免震建物は除く）など、固有周期が短い建物

長周期地震動ではほとんど共振しないので、長周期地震動予測地図ではなく、図2下図の震度分布図（地震調査委員会，2009）を用いる方が、揺れの程度を知る上で参考になる。

- ・ 30～50 階建て程度の超高層建物など、固有周期が約 3～5 秒の建物
長周期地震動による強い影響を受ける可能性がある。図 3 の周期 3 秒、5 秒の速度応答スペクトルの分布図を参照。
- ・ タワー、長大橋、石油タンクなど
長周期地震動による強い影響を受ける可能性がある。それぞれの固有周期に応じた速度応答スペクトルの分布図（報告書 3 章）を参照。

なお、地図に表示されているのは、あくまでもその固有周期をもつ建物の代表的な揺れの速度の最大値であり、建物の上層部などでは、地図に示された最大値よりも大きな揺れになる場合があることに留意する必要がある。また、長周期構造物の減衰定数は、一般的には本検討で用いた 5 % よりも小さく、1～3 % 程度であることが知られており、その際の応答はさらに大きくなる可能性がある。高層建物の設計に際して考慮される長周期地震動の強さは、工学的基盤上で定義される設計用入力地震動の速度応答スペクトルとして考えた場合、長周期帯域では概ね 80cm/s 強とされている例もある。

速度応答スペクトルについては、p. 11 の参考資料および報告書 2 章末尾のコラムにも解説を加えた。

3-2 長周期地震動の最大速度の分布図（報告書 3 章参照）

工学的基盤上での揺れの速度の最大値（最大速度）の分布を示す。今回（2012 年試作版）の場合、周期 2 秒以上の長周期帯域での揺れの速度時刻歴（スペクトルではない）の最大値を示している。長周期帯域では、工学的基盤以浅の表層による影響を近似的に無視できると考えて地図を作成している。速度応答スペクトルがその固有周期をもつ建物の揺れの強さを示す一つの指標であるのに対して、最大速度は地面の揺れの強さを示す一つの指標である。

3-3 長周期地震動の継続時間の分布図（報告書 3 章参照）

工学的基盤上での揺れの速度が 1 cm/s を超える時間の長さの分布を示す。長周期地震動が卓越している場合には、超高層建物などの長周期構造物における揺れの継続時間は、地表の揺れよりもはるかに長くなる場合がある。

4. 「長周期地震動予測地図」の作成方法

「長周期地震動予測地図」の作成の流れは、次の通りである。

- ① 対象とする地震の想定
- ② 震源断層や地下構造のモデル化
- ③ 地震発生時の工学的基盤上での長周期の揺れ（長周期地震動）の波形の計算
- ④ 対象とする地震毎の「長周期地震動予測地図」の作成（周期 T 秒の速度応答スペクトル図、揺れの速度の最大値（最大速度）分布図、継続時間分布図）

5. 今回公表した「長周期地震動予測地図」2012年試作版の構成

今回公表した「長周期地震動予測地図」2012年試作版の報告書は、以下の構成を採っているため、目的に応じて参照のこと。

- ・ 1章： はじめに
- ・ 2章： 長周期地震動について
- ・ 3章： 南海地震（昭和型）の長周期地震動予測地図
- ・ 4章： 南海地震（昭和型）の長周期地震動予測手法
- ・ 5章： 課題と将来展望
- ・ 付録1： Q値参照周期5秒とした場合の計算結果
- ・ 付録2： 全国1次地下構造モデル（暫定版）
- ・ 付録3： 震源時間関数への短周期パルスへの付与方法

なお、報告書や各地図、主な地点の波形や速度応答スペクトルなどについては、地震調査研究推進本部のウェブサイト

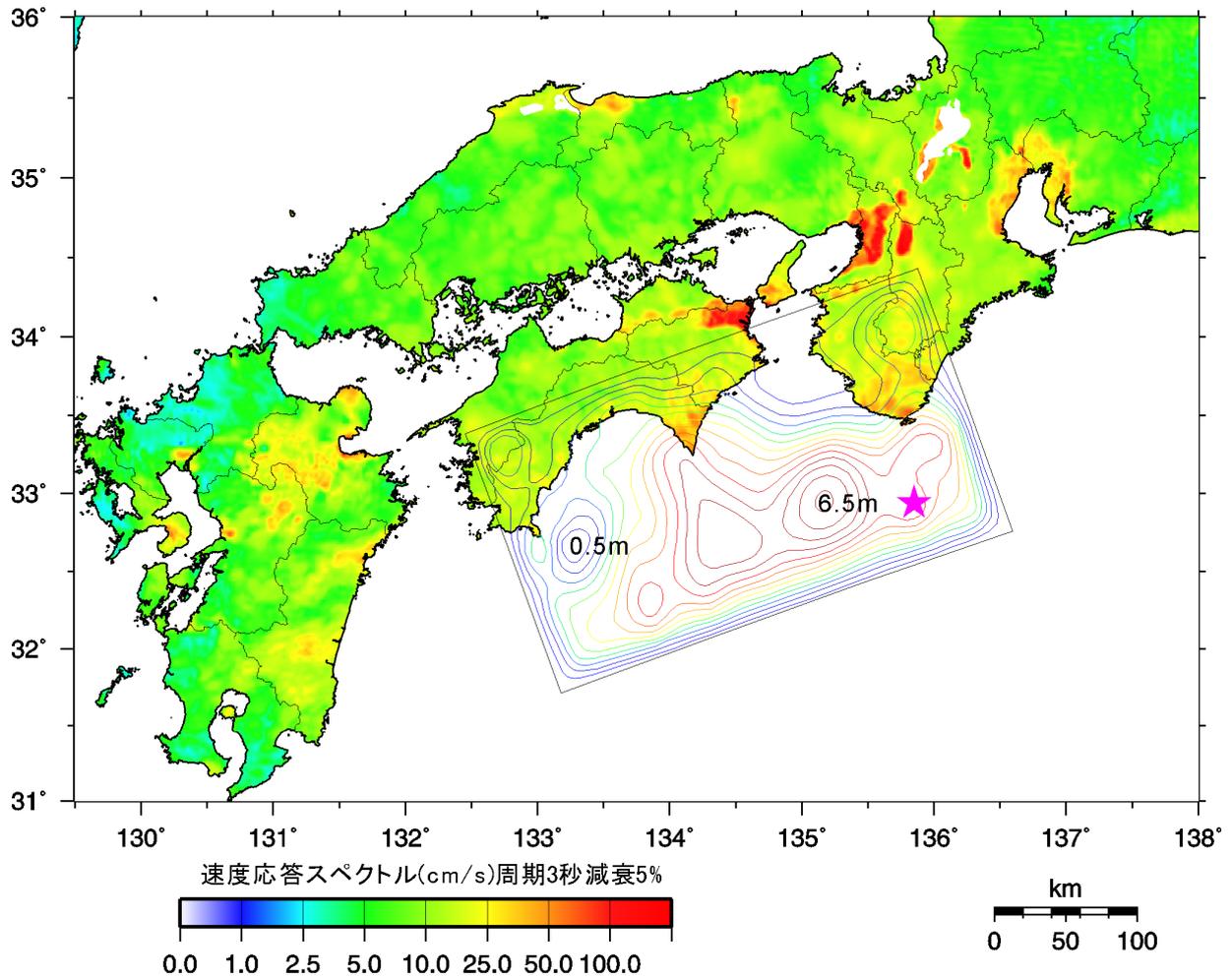
(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/index.htm)

で確認及びダウンロードができるようにするので、詳細については上記ウェブサイトを確認のこと。

6. 今後に向けて

今回公表した「長周期地震動予測地図」2012年試作版は、現時点で利用できる最新の知見や適切と考えられる手法を用いて作成したものであるが、震源の破壊領域が更に広がる巨大地震を想定する場合や、特性化震源モデルの作成、計算領域や計算周期帯域を更に広げることなど、今後も検討すべき課題が残っている。また、地震調査研究推進本部が平成21年4月に決定した「新たな地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（以下、「新総合基本施策」という）においても、当面10年程度に推進すべき地震調査研究の主要な課題として、長周期地震動の調査研究の必要性が挙げられている。

今回の予測は、新総合基本施策に沿って、これから新たな知見を反映させつつ、将来、更に巨大な海溝型地震が発生した場合などを含め、様々な想定地震の長周期地震動、更には広帯域地震動を予測していくための重要なステップと位置付けられる。今後も引き続き地図の活用法も含めた長周期地震動の調査研究を推進していく予定である。



★:破壊開始点
 四国沖から紀伊半島沖の矩形
 は震源断層面、その中のコンタ
 ーは断層面上のすべり量を表
 す。

図1 南海地震（昭和型）による長周期地震動の速度応答スペクトル
 （周期3秒、減衰定数5%）の分布

南海地震（昭和型）が起こったときに発生すると考えられる長周期地震動を予測したもの。固有周期3秒の建物において、建物の動きをおもりの動きに模した時の揺れの最大速度を地図に示している。周期3秒、速度応答が100cm/sの場合、片振幅で約0.5m（両振幅では約1.0m）揺れることになる。一般的な超高層建物では、その頂部の揺れは、応答スペクトルの値の20～30%程度増しになる場合もあると考えられる。

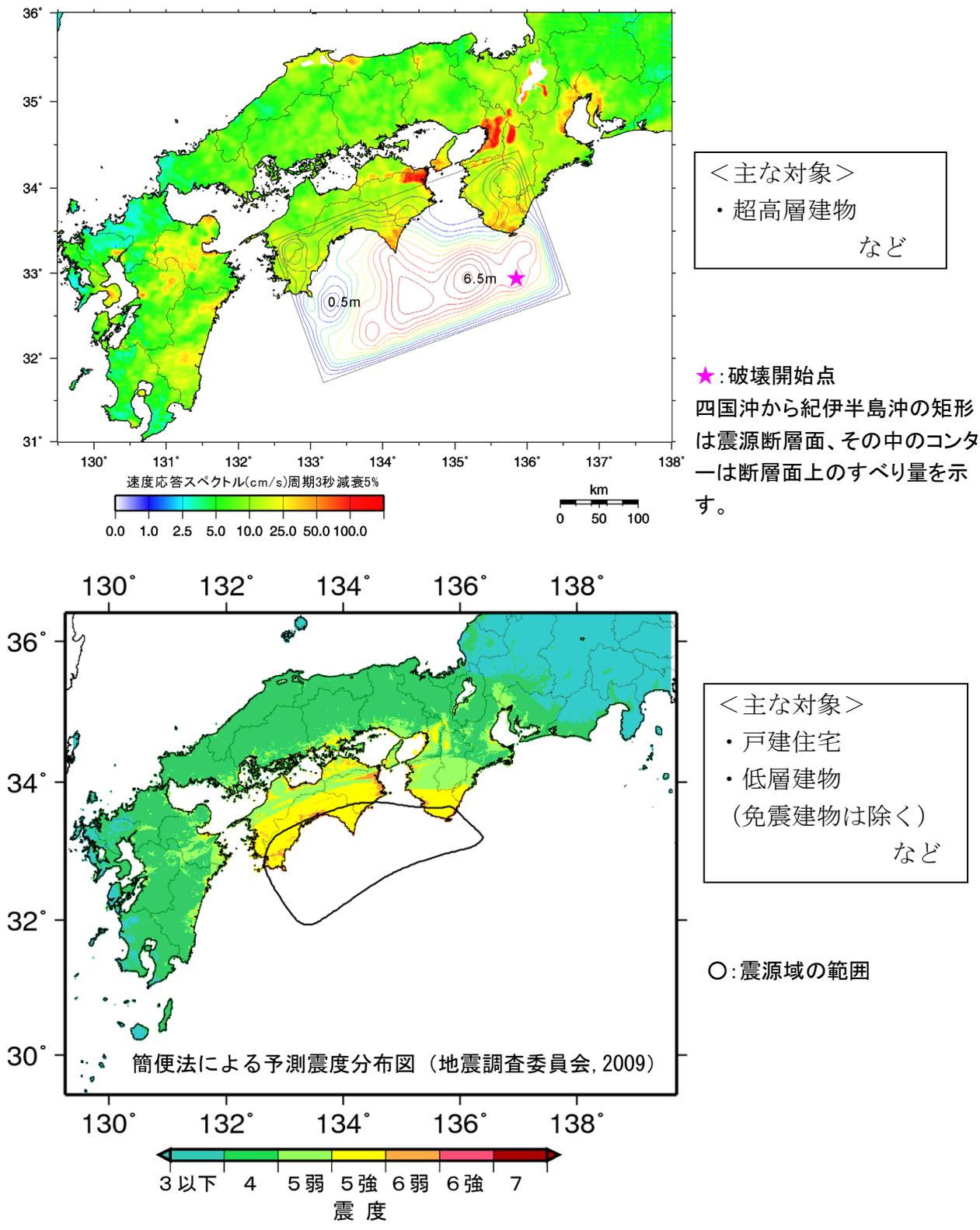
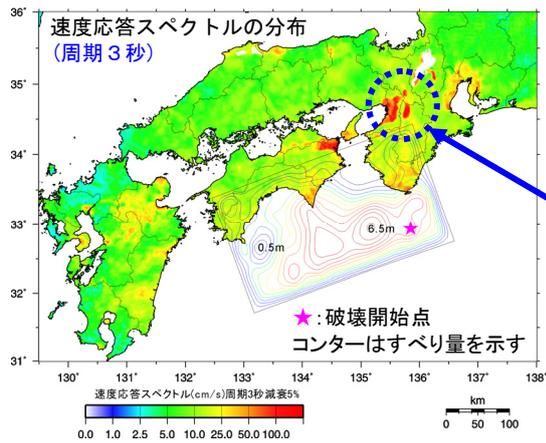
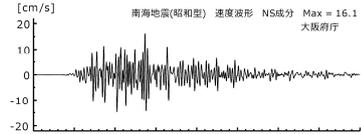


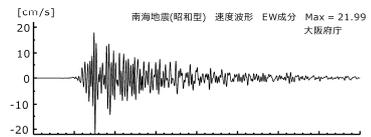
図2 南海地震（昭和型）による工学的基盤での長周期地震動の速度応答スペクトル（周期3秒、減衰定数5%）の分布（上図）と簡便法による地表の予測震度分布図（地震調査委員会，2009；下図）の比較



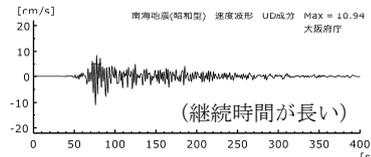
南北成分



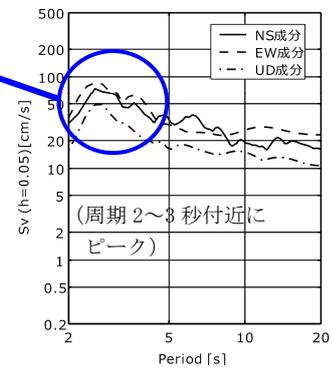
東西成分



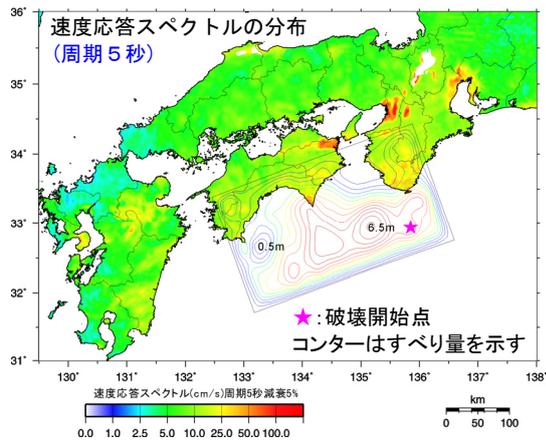
上下成分



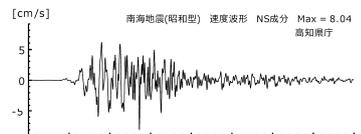
大阪府庁での長周期地震動の速度波形



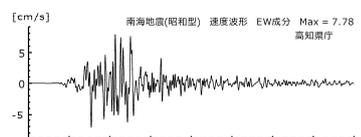
大阪府庁での速度応答スペクトル



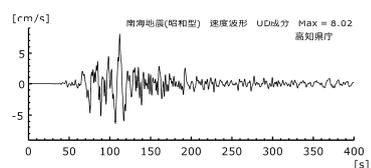
南北成分



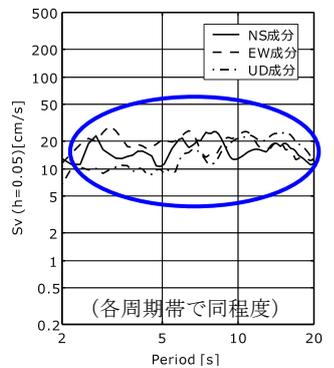
東西成分



上下成分



高知県庁での長周期地震動の速度波形



高知県庁での速度応答スペクトル

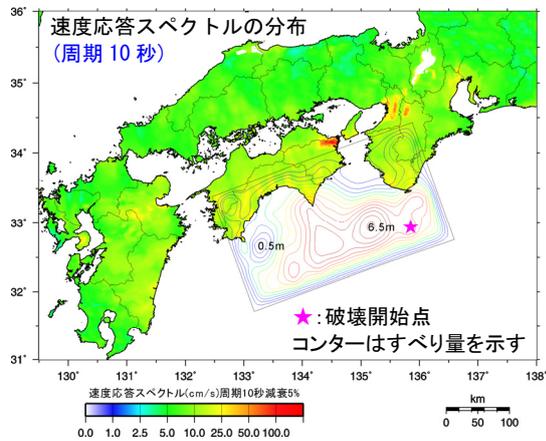
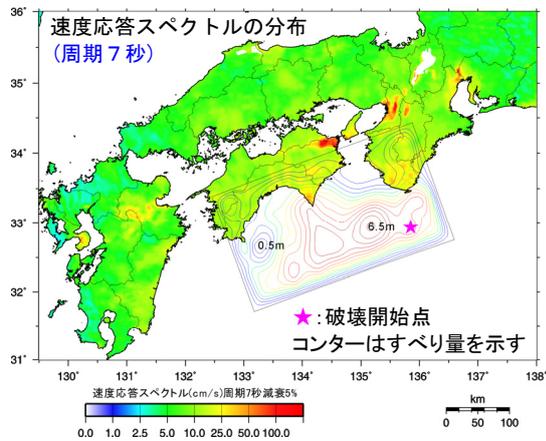


図3 速度応答スペクトルの見方の例

いずれの図も減衰定数 5%。大阪府庁は高知県庁に比べて長周期地震動の継続時間がやや長く、周期約 2~3 秒では速度応答も大きくなる。

※速度応答スペクトルの図は、水平成分のみから作成されているが、上下成分を加えても傾向はそれ程変わらない。

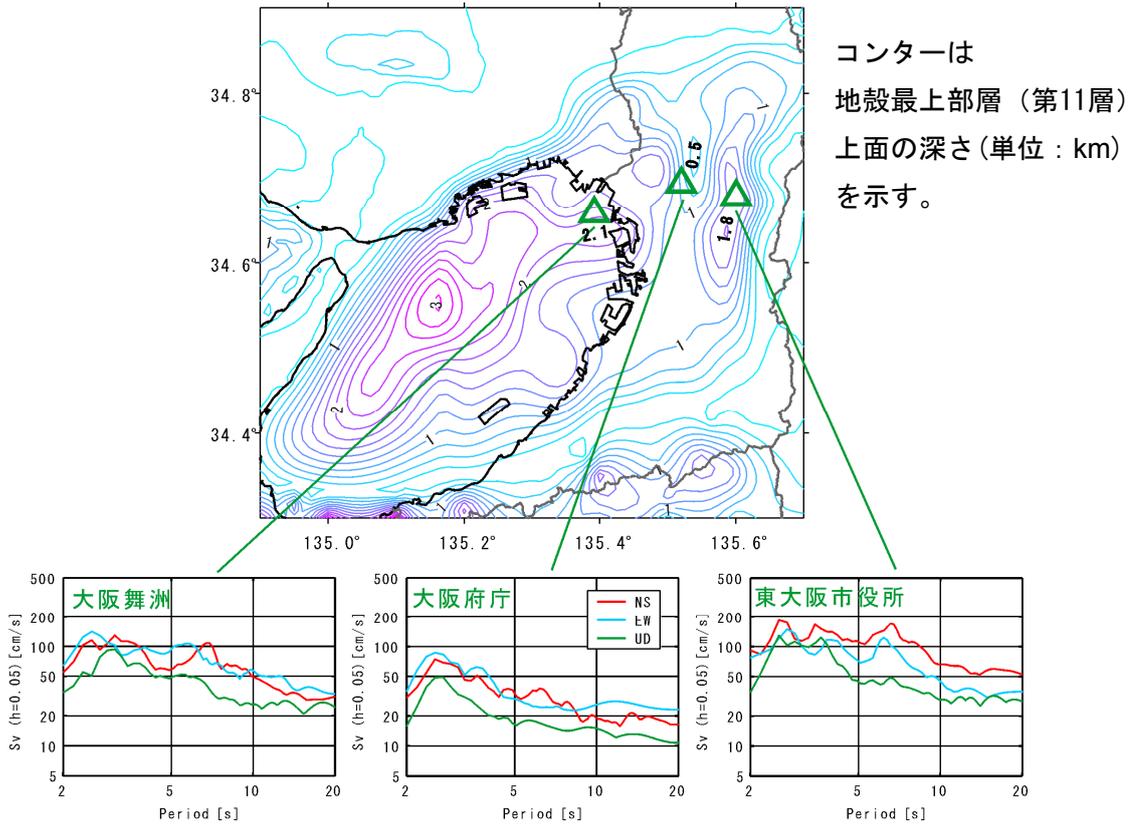


図4 大阪平野内の3地点で計算された速度応答スペクトル

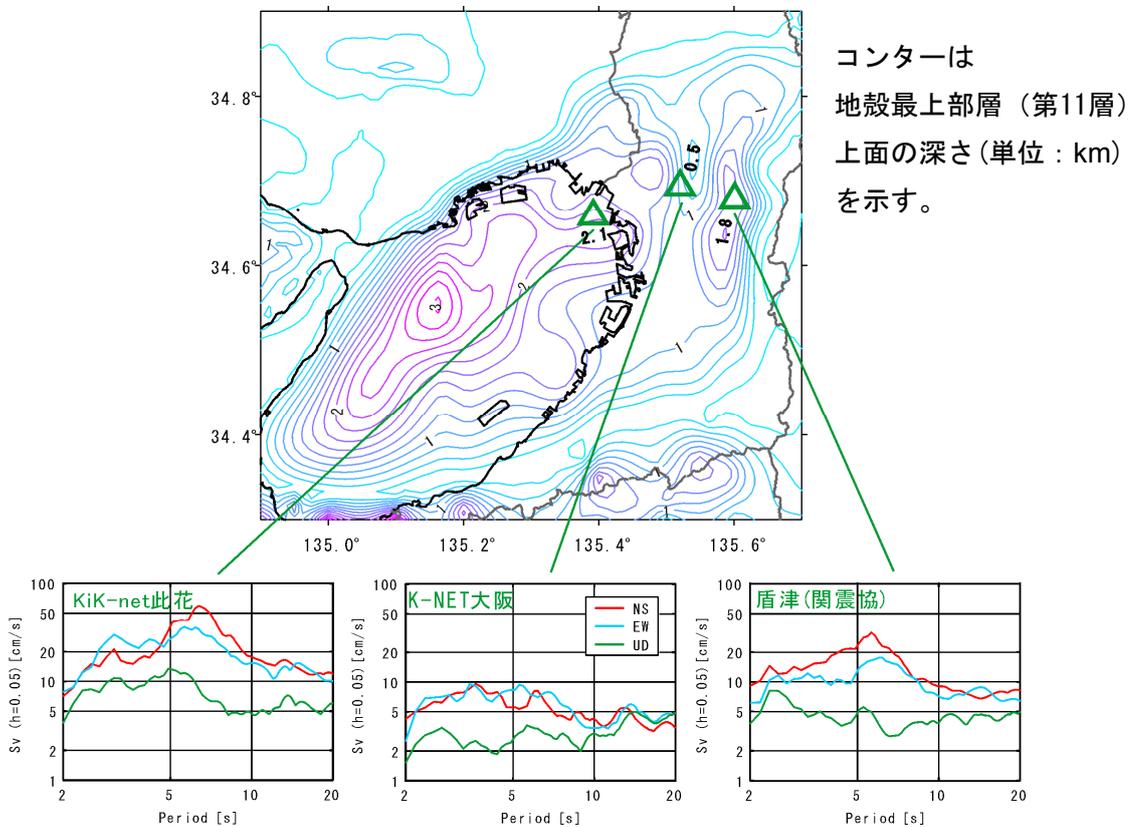
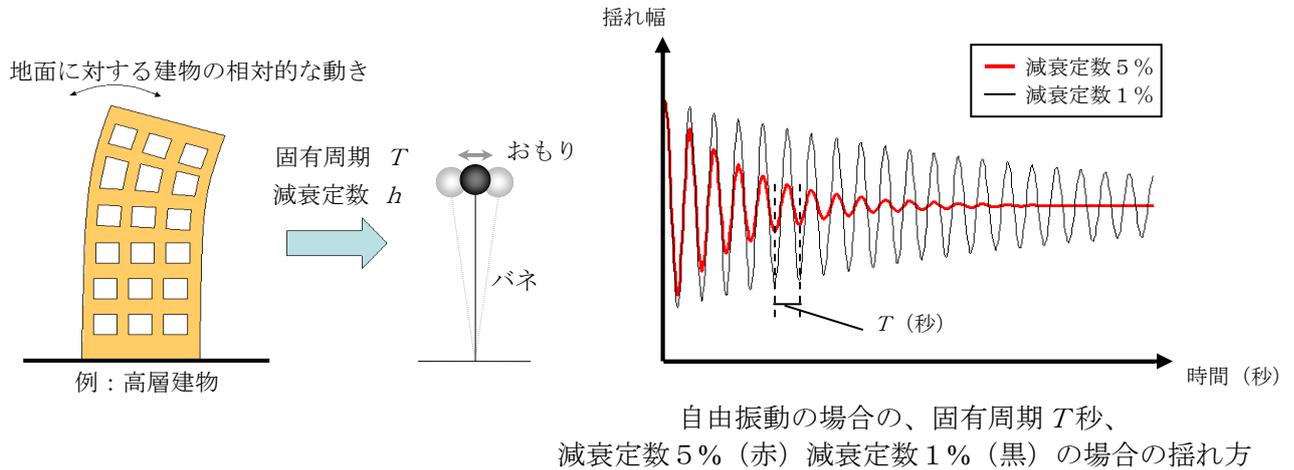


図5 大阪平野内の3地点で観測された2011年東北地方太平洋沖地震の速度応答スペクトル ※ 図4 とほぼ同位置の強震観測点での比較

固有周期、減衰定数、速度応答について

高層建物やタワー、タンクの液面等の揺れを、同じ固有周期や減衰特性を持つ「バネに繋がれた1つのおもり」の動きに置き換えて、周期ごとのおもりの揺れ方（応答）を評価している。



*長さのあるものを一つのおもりの動きに置き換えて表すため（左図）、例えば、一般的な超高層建物の頂部の応答は、応答スペクトルの値の 20～30% 程度増しになることが知られている。

*固有周期 T 秒で減衰定数 5%、減衰定数 1% の建物の揺れ方は、自由振動の場合、1 周期毎に揺れ幅がそれぞれ約 27%、約 6% 小さくなる（右図）。

*減衰定数が小さいほど、揺れを減衰させる効果は小さい。超高層建物などの減衰定数は一般的には 5% よりも小さく、1～3% 程度であることが知られている。従って、実際の超高層建物の揺れは、例えば上図の減衰定数 1% の波形に示すように、減衰しにくくなる可能性があると考えられる。

*何度も行き来するおもりの揺れでは、速度と加速度、速度と変位を固有周期に依存する定数を介した比例関係で近似できる。これを基にすると、例えば、固有周期 5 秒の場合には、最大速度応答（速度応答スペクトル）が 100cm/s の場合、最大加速度応答は 125cm/s²、最大変位応答は片振幅で 80cm（両振幅では 160cm）程度と推定できる。